

В.П. Маршуба, канд. тех. наук, Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУЖКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

The physical model of the process of chip elements' formation, when materials are processing by cutting, is offered. On the basis of offered physical model, it is possible to create the general mathematical model, which describes the process of cutting in different materials. Usage of this physical model will allow determining necessary conditions for processing of deep bores with maximum productivity when processing components from different materials.

Введение. Процесс превращения поверхностного слоя заготовки в стружку под действием приложенной к режущему инструменту силы, описан еще на заре прошлого века основоположником теории резания материалов проф. И.А. Тиме.

Однако физической модели процесса образования элементов стружки при обработке различных материалов в свете общей теории резания, с учетом взаимодействий всех физических явлений и взаимоотношений между ними, до настоящего времени не было создано. Это не смотря на то, что данное физическое явление было исследовано большим количеством ученых на протяжении длительного отрезка времени, для различных материалов и при разных условиях проведения экспериментов.

Процесс превращения поверхностного слоя заготовки в стружку под действием режущего инструмента, к которому приложена определённая сила, сопровождается интенсивным тепловыделением под влиянием ряда физических явлений, возникающих при этом, и взаимодействием между ними. К этим явлениям, в частности по данным Н.И. Резникова и др. исследователей, необходимо отнести следующие:

- первичную пластическую деформацию поверхностной части обрабатываемого материала под действием высокого удельного давления;
- сопротивление материала заготовки сдвигу под воздействием удельного давления;
- возникновение опережающей трещины в материале и последующий сдвиг этой части поверхностного слоя, относительно основной массы;
- вторичная пластическая деформация отделившейся части материала под действием силы трения, высокого удельного давления и температуры;
- возникновение на всем этапе силы трения и процесса теплообразования и другие основные факторы, характеризующие процесс резания.

Проявление этих факторов выражается в протекании сложных тепловых явлений, т.е. возникновении источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты в системе деталь-инструмент-стружка. Это сложное тепловое взаимодействие принято называть температурой резания, т.е. это

понятие отображает в какой то мере взаимодействие между физическими явлениями, и используется при описании характеристик процесса резания, как в целом, так и в частности.

Кроме этого возникновение силы трения запускает ряд процессов механического и адгезионного взаимодействия, что существенно влияет на процесс среза элементов стружки.

Анализ последних исследований и публикаций. Первые исследования закономерностей деформирования металла в процессе стружкообразования были проведены профессором Санкт-Петербургского политехнического института И.А. Тиме и их результаты опубликованы в 1893 г. Он установил основные закономерности процесса образования элементов стружки при срезе. Продолжателями его традиций стала целая плеяда как отечественных, так и зарубежных исследователей, среди которых немало ученых с мировым именем, так например: А.А. Брикс, К.А. Зворыкин, И.М. Беспрозванный, А.И. Каширин, В.Д. Кузнецов, С.Ф. Глебов, А.М. Розенберг, В.А. Кривоухов, М.И. Клушин, Н.Н. Зорев, В.Ф. Бобров и др.

В последних изданиях по данному вопросу, в частности в работе Грановского Г.И., Грановского В.Г. [1] приведены данные о физической природе процесса образования элементов стружки, обосновано влияние основных физических факторов, влияющих на данный процесс. Однако в этой работе процесс образования стружки не увязывался в полной мере в совокупности с влиянием физических явлений, сопровождающих процесс трения и теплообразования, хотя и предполагалась такая взаимосвязь. Кроме этого данные по исследованию процесса среза стружки проводились только для свободного резания (точение и строгание), тогда как процесс обработки глубоких отверстий предусматривает несвободное резание и условия, отличные от исследованных, по данным работы автора [2].

Исследованиями вопроса возникновения источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты при резании материалов, занимались видные ученые, среди которых Я.Г. Усачов, Н.И. Резников, А.М. Даниелян и др.

В изданиях, вышедших в последнее время, посвященных теплофизике процесса обработки металлов резанием, произошло разделение вопроса исследования. В частности в работе Резникова А.Н., Резникова Л.А [3], посвящённой общей теплофизике процессов резания, тогда как работа Юдковского П.А. и др. [4] посвящена в первую очередь процессу теплообразования при неглубоком сверлении. В этих работах приведены данные по распределению потоков и стоков теплоты в детали, инструменте и стружке, как при точении, так и при неглубоком сверлении. Однако в этих работах процесс возникновения источников тепла и распределения потоков и стоков теплоты описан не полностью, так как не учитывает в полной мере взаимодействие всех физических явлений, присущих глубокому сверлению, и не учитываемых при неглубоком сверлении. В частности не рассматривается вопрос вто-

ричного перераспределения потоков теплоты, которые описаны в работе автора [5].

Исследованиями вопросов возникновения, протекания и взаимодействия физических и химических явлений процесса трения занимались видные ученые, среди которых М.Ф. Полетика, Т.Н. Лоладзе, Г.В. Виноградов, И.В. Крагельский и др.

В изданиях, вышедших за последнее время, в частности в работе Шпенькова Г.П. [6], посвященной исследованию законов взаимодействия физико-химических явлений процесса трения, доказана взаимосвязь механической и адгезионной составляющих силы трения с различными физическими явлениями сопровождающими процесс резания при образовании элемента стружки. Указано, что влияние физико-химических явлений процесса трения неразрывно связано с взаимодействием других физических явлений, особенно трение связано с образованием определенного количества теплоты в зоне резания. Однако в данной работе не указано влияние механической и адгезионной составляющих силы трения на условия деформации элемента стружки, и процессы, сопровождающие отделение фрагмента обрабатываемого материала от основной массы.

Недостатки в проведенных исследованиях по указанным выше вопросам связаны в первую очередь не с компетентностью видных ученых и их последователей, которые проводили данные изыскания, а с тем, что данные закономерности влияния физических явлений лежат на стыке вопросов, рассмотренных в этих работах. Поэтому для большего понимания закономерностей влияния физических явлений друг на друга, необходимо создание физической модели процесса среза элемента стружки, которая учтет большую часть не рассматриваемых ранее вопросов и более точно отразит существующие взаимосвязи.

Цель исследований. Разработать комплексный метод определения закономерностей физики процесса образования элемента стружки в зоне резания при глубоком сверлении в зависимости от взаимодействия физических явлений между собой (физическую модель). Взяв за основу разработанный комплексный метод и существующие закономерности взаимодействия физических явлений между собой, появляется возможность создания общей математической модели процесса резания при обработке глубоких отверстий.

Изложение основного материала. Как известно процесс резания, особенно при глубоком сверлении, является многопараметричным, т.е. на данный процесс оказывает влияние большое количество, как переменных, так и постоянных факторов. К этим факторам необходимо отнести следующие: физические и химические свойства инструментального и обрабатываемого материалов (твердость, вязкость, теплопроводность, скорость протекания химических реакций, адгезионная активность и т.д.), режимы реза-

ния, условия термодинамики и многие другие. В свете существующих представлений о процессе срезания стружки и базирования на уже известных закономерностях взаимного влияния физических явлений, возможно на данном этапе создание физической модели данного процесса.

Как следует из рисунка 1, который базируется на общих представлениях о предоставленном процессе, рассмотрим последовательность прохождения всех этапов при образовании элемента стружки. Разбивка на отдельные этапы связана с тем, что в разные отрезки времени в данном процессе взаимодействуют различные физические явления, действия которых в корне отличны между собой.

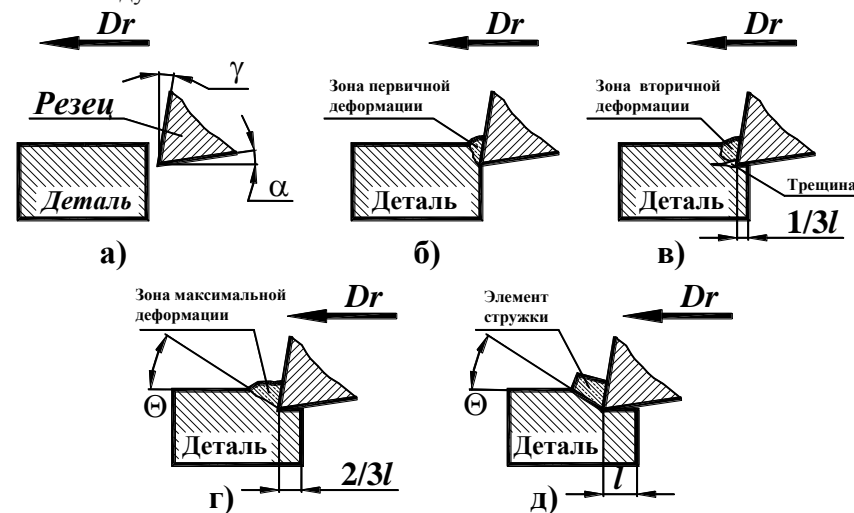


Рис. 1. – Схема образования элемента стружки по Резникову А.Н. Dr – движение резания; l – длина пути, необходимая для образования одного элемента стружки.

На рис. 1, (а) показано исходное состояние системы резец – деталь до начала процесса резания.

На рис. 1, (б) показано начало процесса резания (первый этап), т.е. образование зоны первичной деформации без сдвига элемента стружки.

На рис. 1, (в) показан второй этап процесса резания, т.е. образование зоны вторичной деформации и появления трещины без сдвига элемента стружки при смещении резца на одну треть пути, необходимого для образования элемента стружки.

На рис. 1, (г) показан третий этап процесса резания, т.е. образование зоны максимальной деформации без сдвига элемента стружки при смещении резца на две трети пути, необходимого для образования элемента стружки.

На рис. 1, (д) показано четвертый этап процесса резания, т.е. образование элемента стружки со смещением резца на длину пути, необходимую для образования элемента стружки.

В результате описанной выше последовательности образования элемента стружки, удельное давление на резец непрерывно меняется, колеблясь от некоторого минимума, соответствующего моменту конца скалывания и начала образования нового элемента (рис. 1, д), до некоторого максимума, соответствующего моменту максимальной деформации элемента (рис. 1, г) и началу его скалывания.

Кроме рассмотренных выше закономерностей, происходит взаимодействие других физических явлений между собой, так например: трение инструмента об обрабатываемую поверхность и стружку; образование теплоты и её стоки в системе резец - деталь - стружка - окружающая среда, и др.

Явлением износа режущего инструмента в процессе срезания одного элемента стружки можно пренебречь в силу очень малой его величины, тогда как в условиях обработки глубоких отверстий износом сверла пренебрегать нельзя. Это связано с тем, что по мере увеличения износа инструмента увеличиваются размеры контактных площадок между резцом и деталью, а это в свою очередь вызывает прирост силы трения и количества теплоты.

Исходя из рассмотренной схемы образования элемента стружки, необходимо для создания общей математической модели процесса резания при глубоком сверлении, создать физическую модель, которая будет более полно учитывать взаимосвязь всех физических явлений между собой и их влияние друг на друга.

Поэтому рассмотрим процесс среза стружки в свете предлагаемой автором физической модели (рис. 2), которая будет показывать поэтапное взаимодействие физических явлений между собой в свете влияния друг на друга:

1) режущему инструменту или детали придаются два движения, в частности: *главное движение резания* (вращение изделия либо инструмента) и *вспомогательное движение подачи* (осевое перемещение изделия либо инструмента), на рис. 2 они обозначены повышенным удельным давлением. Предположим что, до соприкосновения инструмента с деталью система фактически инертна, т.е. физические явления не возникают и не взаимодействуют между собой, остальные её параметры постоянны;

2) процесс внедрения инструмента в деталь (рис. 1, б и рис. 2) сопровождается возникновением зоны первичной деформации обрабатываемого материала (сжатие поверхностного слоя), как следствие этого образование первичных источников теплоты от деформации. Следовательно, система переходит из состояния покоя в возбужденное состояние, при этом увеличивается сопротивление обрабатываемого материала внедрению в него инструмента (выражаемое в росте силы резания). Система характеризуется ростом количества теплоты и силы резания;

3) при дальнейшем воздействии инструмента на поверхность изделия (рис. 1, в и рис. 2), возникает опережающая трещина, которая приводит к возникновению ювенальных поверхностей и возникновению адгезионной

составляющей силы трения (появление мостиков схватывания) между изделием и инструментом, по задней его поверхности, и как следствие этого продолжает расти количество теплоты от деформации в этой зоне. Кроме этого данный этап сопровождается продолжающимся ростом силы резания. На данном этапе система характеризуется дальнейшим ростом количества теплоты и силы резания, возникновение стоков теплоты из зоны деформации;

4) данный этап заключается в возникновении наиболее возможной деформации срезанного элемента стружки (рис. 1, г и рис. 2), следовательно, вызывает максимальное появление количества теплоты от деформации, теплоты от адгезионного взаимодействия (разрыв старых мостиков схватывания и возникновение новых) в результате усадочных явлений в срезанном элементе. Данный этап характеризуется наибольшим значением силы резания, дальнейшим ростом количества теплоты и её продолжающимся стоком, возникновением механической составляющей силы трения;

5) скалывание элемента стружки (рис. 1, е и рис. 2), т.е. его сдвиг относительно исходного положения, сопровождается скачкообразным снижением силы резания, ростом количества вторичной теплоты (от сдвига) и дальнейшим ростом механической составляющей силы трения (заклинивание небольших фрагментов срезанного слоя в микронеровностях поверхности инструмента).

Появление механической составляющей силы трения вызвано двумя факторами: во-первых, в результате разогрева под действием теплоты деформации в поверхностном приконтактном слое (между элементом стружки и передней поверхностью инструмента), возникает зона жидкотекучести обрабатываемого материала, что в условиях повышенного удельного давления вызывает заполнение микронеровностей поверхности инструмента; во-вторых, дальнейшее перемещение элемента стружки относительно передней поверхности инструмента вызывает срезание или отрыв частичек стружки, заполнивших его микронеровности. Данное явление сопровождается дополнительным разогревом зоны резания (вторичная теплота от сдвига, среза и перемещения элемента стружки и его частиц), что инициирует появление новых ювенальных поверхностей, а следовательно, вторичных проявлений адгезионной составляющей. Система на данном этапе характеризуется следующими явлениями: скачкообразное снижение силы резания, рост составляющих силы трения, увеличение количества теплоты (первичной и вторичной) и её дальнейший сток;

6) образование отдельного элемента стружки возвращает систему в исходное состояние к началу второго этапа (рис. 1, д и рис. 2). Данный этап сопровождается некоторым снижением адгезионной составляющей силы трения (из-за окислительных химических процессов на ювенальных поверхностях), однако возрастает механическая составляющая силы трения. Процессы теплообразования тоже снижаются, так на данном этапе отсутствуют первичные источники теплоты (деформация), хотя присутствуют вторичные, тогда как законы тепловой динамики вступают в максимальное действие, т.е.

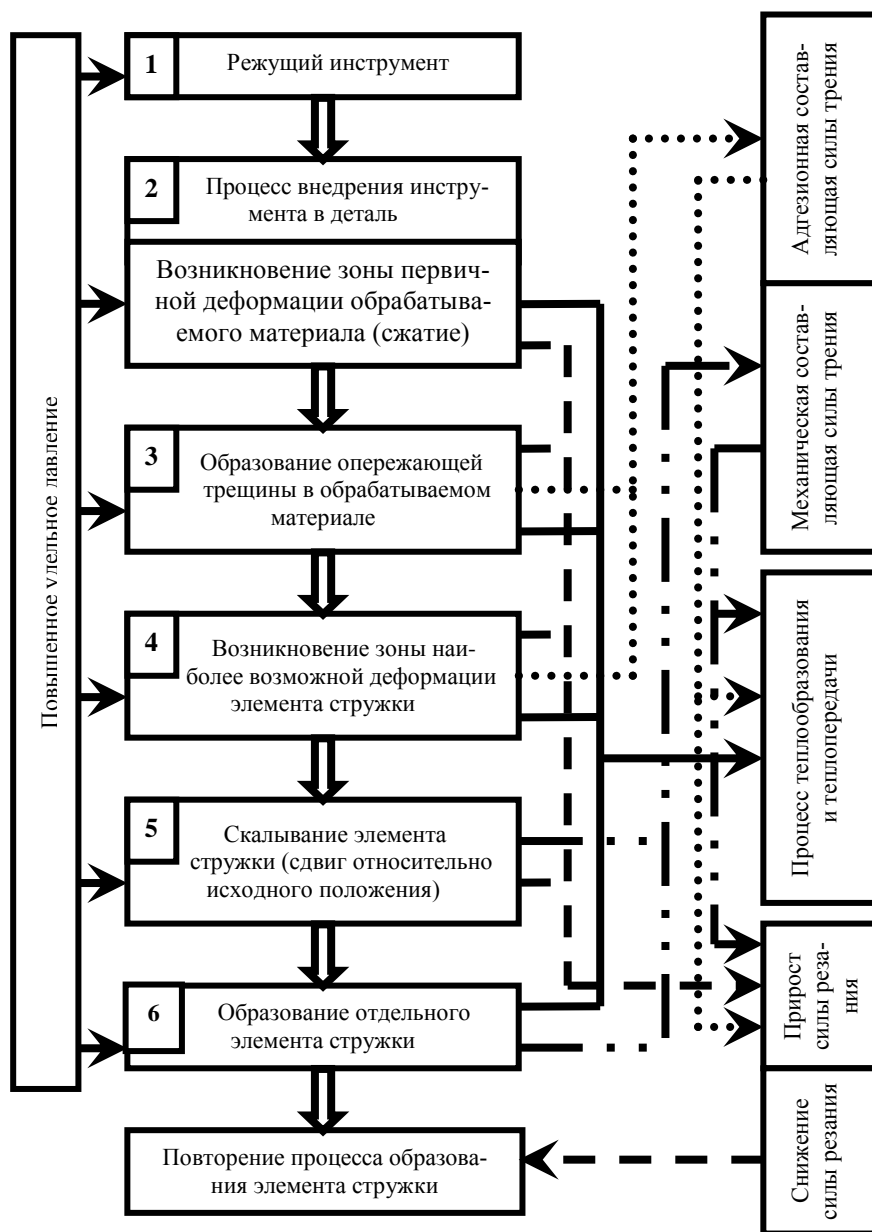


Рис. 2. - Физическая модель деформации поверхностного слоя при резании материалов, и его сдвиг под нагрузкой до образования элемента стружки.

происходит передача (сток) теплоты в стружку, в инструмент, в деталь и в окружающую среду. Этот этап характеризует то, положение что, в стружке остается наибольшее количество теплоты по сравнению с другими направлениями стока теплоты, из-за оторванности элемента стружки от основного обрабатываемого материала, хотя он и плотно связан со следующим срезаемым элементом. Большое количество теплоты в стружке обосновано следующими положениями: во-первых, здесь расположен наиболее мощный источник теплоты - деформация; во-вторых, из-за сдвига элемента стружки относительно основного материала, зона контакта значительно уменьшается за сравнительно короткий интервал времени, тогда как процесс теплопередачи сильно растянут во времени и теплота не успевает рассеиваться.

Такой подход к решению данной задачи позволит: с одной стороны производителям решать насущные проблемы при решении своих технологических проблем, которые связаны с обработкой глубоких отверстий; с другой стороны позволит молодым исследователям решать различные научные задачи по определению физики процессов резания и существующих закономерностей; в-третьих, студентам, которые изучают проблемы обработки различных материалов, более полно представлять процесс механической обработки глубоких отверстий, в контексте решения данной задачи.

Выводы. 1. Создание физической модели процесса образования стружки не противоречит существующим в настоящее время, представлениям о данном процессе.

2. Физическая модель наиболее полно представляет закономерности взаимосвязи между физическими явлениями, протекающими в процессе резания материалов и их влияние друг на друга.

3. Наглядность физической модели взаимосвязи физических явлений способствует более точному описанию процесса образования элемента стружки с точки зрения математической модели.

Список литературы: 1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. - М.: Высш. школа, 1985. - 304 с. 2. Маришуба В.П. Причины внезапного отказа (поломок) спиральных сверл при обработке глубоких отверстий в алюминиевых сплавах и методы их устранения. // «Резание и инструмент в технологичных системах»: Междунар. научн.-техн. сборник. - Харьков: ХГПУ, 1998. Вып. №52. - С. 154-157. 3. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с. 4. Юдовский П.А., Крючков И.К., Шевель А.П. Повышение качества спиральных сверл. - Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1970. - 110 с. 5. Маришуба В.П., Дрожжин В.И. Вторичное перераспределение потоков и стоков теплоты в зоне обработки при глубоком безвыводном сверлении алюминия. НТУ «ХПИ». // «Резание и инструмент в технологичных системах»: Междунар. научн.-техн. сб. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. Вып. №59. - С. 163-166. 6. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения. Мн.: Университетское, 1991.-397 с.

Представлена в редколлегию 10.11.06